

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

#4 Pnarc/KC
Kduna-
11/2101
JC872 U.S. PRO
09/923443
08/08/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-241480

出 願 人

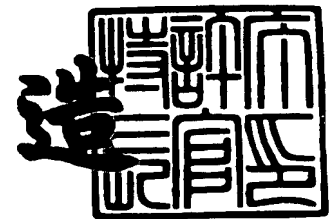
Applicant (s):

株式会社東芝

2001年 3月 9日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3017979

【書類名】 特許願

【整理番号】 A000004342

【提出日】 平成12年 8月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 露光マスク、並びにそれを用いたフォーカス及び収差の測定方法

【請求項の数】 12

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

 【氏名】 野村 博

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

 【氏名】 許斐 堅嗣

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

 【識別番号】 100058479

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 鈴江 武彦

 【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】

 【識別番号】 100084618

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】

【識別番号】 100068814

【弁理士】

【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【選任した代理人】

【識別番号】 100070437

【弁理士】

【氏名又は名称】 河井 将次

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光マスク、並びにそれを用いたフォーカス及び収差の測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投影光学系を介してホトマスク上に形成されたマスクパターンの像を基板上に投影する投影露光装置に使用する露光マスクであって、

プラス 1 次回折光とマイナス 1 次回折光の回折効率が異なる少なくとも 1 つの回折格子パターンと、この非対称回折格子パターンの像のずれを測定する際の基準となる像を得るための基準パターンと

を具備してなることを特徴とする露光マスク。

【請求項 2】

前記基準パターンは、前記回折格子パターンとは対称な回折格子パターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の露光マスク。

【請求項 3】

前記基準パターンは第 1 および第 2 の基準パターンで構成され、この第 1 の基準パターンと前記第 2 の基準パターンとの間に前記回折格子パターンが配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光マスク。

【請求項 4】

前記回折格子パターンは第 1 および第 2 の回折格子パターンで構成され、この第 1 の回折格子パターンと前記第 2 のテストパターンとの間に前記基準パターンが配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光マスク。

【請求項 5】

前記回折格子パターンは第 1 および第 2 の回折格子パターンで構成され、前記基準パターンは第 1 および第 2 の基準パターンで構成され、

前記第 1 の回折格子パターンと前記第 1 の基準パターンは第 1 の直線上に平行に配列され、前記第 2 の回折格子パターンと前記第 2 の基準パターンは前記第 1 の直線に対して垂直な第 2 の直線上に平行に配列されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光マスク。

【請求項6】

トリムパターンをさらに有し、このトリムパターンと前記回折格子パターンとを重ね合わせて露光した場合に、前記回折格子パターンの像を構成するラインパターン群の一部が前記トリムパターンの像によって覆われることを特徴とする請求項1に記載の露光マスク。

【請求項7】

前記回折格子パターンと前記基準パターンの対を複数有し、これらの対が 45° おき、又は 22.5° おきに回転して配列されていることを特徴とする請求項1に記載の露光マスク。

【請求項8】

前記回折格子パターンは、光を遮断する遮光部と、光を通す第1及び第2の透明部とを含み、前記第1の透明部を透過した光の位相と前記第2の透明部を透過した光の位相との差の絶対値が 180° 以外であることを特徴とする請求項1ないし7のいずれか1項に記載の露光マスク。

【請求項9】

前記絶対値は 90° であることを特徴とする請求項8に記載の露光マスク。

【請求項10】

前記遮光部の幅と、前記第1の透明部の幅と、前記第2の透明部の幅との間の比が実質的にそれぞれ2対1対1であることを特徴とする請求項9に記載の露光マスク。

【請求項11】

投影光学系を介してホトマスク上に形成されたマスクパターンの像を基板上に投影する投影露光装置に関し、フォーカステストマスク上に形成されたテストマークの像を前記基板上に投影し、この像を用いて前記基板表面のデフォーカス量を測定するフォーカス測定方法において、

前記フォーカステストマスクとして請求項1ないし10のいずれか1項に記載の露光マスクを使用し、

前記基板上に感光剤を塗布する第1の工程と、

前記基板上に前記露光マスク内のテストマークを構成する回折格子パターンお

よび基準パターンの像を同時に露光する第 2 の工程と、

前記露光マスク内にトリムパターンがある場合、このトリムパターンの像を前記第 2 の工程で得られた像の上に重ねて露光する第 3 の工程と、

前記基板上に転写されたパターンを現像する第 4 の工程と、

前記基板上に形成された前記回折格子パターンと前記基準パターンの像の相対的な距離を測定する工程と

を有することを特徴とするフォーカス測定方法。

【請求項 1 2】

投影光学系を介してホトマスク上に形成されたマスクパターンの像を基板上に投影する投影露光装置に関し、フォーカステストマスク上に形成したテストマークの像を前記基板上に投影し、この像を用いて前記基板表面のデフォーカス量を測定し、この測定したデフォーカス量に基づいて収差を測定する収差測定方法において、

前記フォーカステストマスクとして請求項 1 ないし 1 0 のいずれか 1 項に記載の露光マスクを使用し、

前記基板上に感光剤を塗布する第 1 の工程と、

前記基板上に前記露光マスク内のテストマークを構成する回折格子パターンおよび基準パターンの像を同時に露光する第 2 の工程であって、

前記テストマークを照明する照明光学系の部分コヒーレンスを σ 、前記テストマークを構成する第 1 のパターンの像の周期を P 、照明光の波長を λ 、投影光学系の開口数を NA とした場合に、 $\lambda / \{ NA (1 - \sigma) \} \leq P \leq 2 \lambda / \{ NA (1 + \sigma) \}$ の条件を満たす条件で、前記回折格子パターンおよび基準パターンの像を同時に露光する第 2 の工程と、

前記露光マスク内にトリムパターンがある場合、このトリムパターンの像を前記第 2 の工程で得られた像の上に重ねて露光する第 3 の工程と、

前記基板上に転写されたパターンを現像する第 4 の工程と、

前記基板上に形成された前記回折格子パターンと前記基準パターンの像の相対的な距離を測定する工程と

を有することを特徴とする収差測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体分野で使用される露光マスク、並びにそれを用いたフォーカス及び収差の測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

製造される半導体装置のデザインルールが小さくなるに従い、リソグラフィーに許されるフォーカスの許容値が狭くなってきている。したがって、ウエハの平坦度や露光装置の像面彎曲に対するスペックが厳しくなるのと同時に、ウエハ上に転写されたレジストパターンを用いたフォーカスや像面彎曲等の高精度な測定方法が要求されている。

【0003】

従来では、レジストパターンを用いたフォーカス測定方法として、USP 1 [US Patent No. 4908656] や USP 2 [US Patent No. 5300786] に示される方法、或はこれらの測定方法を応用したフォーカス測定方法が一般的に用いられてきた。

【0004】

USP 1 の方法は、マスク上に形成された菱形パターンをウエハ上に転写し、転写されたパターンの寸法がベストフォーカスで最大になることを利用したフォーカス測定方法である。

【0005】

この方法は一般的にはSMPと呼ばれている。一方、USP 2 の方法は、所謂レベンソン型の位相シフトマスク (Alternating Phase Shift Mask) を用い、孤立線状の遮光パターンの両側で位相差が 180° 以外 (最適値は 90°) になるようなパターンをデフォーカス状態で露光すると、この孤立線パターンの像が横方向に移動する現象を利用したフォーカス測定方法である。

【0006】

USP1では、菱形のサイズを変えたり、或は菱形パターンを鋭角に交わる2組の周期パターンの2重露光によって形成する場合は、この周期パターンの周期を変える等して、孤立パターンだけでなく、様々な周期パターンのフォーカス測定に応用可能である。

【0007】

一方、USP2では、孤立パターンの移動はベストフォーカス近傍でフォーカスに対してほぼ直線的に変化するため、1度の露光で、符号付きのデフォーカス量を決定することができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、USP1, 2には以下のような問題がある。

【0009】

USP1では、転写された菱形パターンの寸法が最大（極大）になる条件としてベストフォーカスを決定するため、フォーカス条件を徐々に変えて複数回露光を繰り返し、その寸法変化を測定しなければならない。したがって、フォーカス決定精度や露光量均一性等、露光装置のフォーカス制御に係る不安定性（Fluctuation）に伴う測定誤差を無視することはできないという問題がある。すなわち、高精度なフォーカス測定が困難であるという問題がある。

【0010】

さらに、USP1では、寸法とフォーカスの関係を予め用意しても、寸法変化はプラスマイナス両デフォーカス方向でほぼ対称となるため、少なくとも2フォーカス条件で露光しなければ、デフォーカスの方向を同時に判断することができない。すなわち、符号付きのデフォーカス量を簡単に測定することが困難であるという問題がある。

【0011】

一方、USP2では、測定対象が孤立パターンに限定されるため、周期パターンに拡張できないという問題がある。すなわち、実際に半導体装置の製造に用いられるパターン密度に近い周期パターンを測定できないという問題がある。また、USP2では、デフォーカス量と孤立パターンの位置ずれ量が直線的な関係で

あることが高精度なデフォーカス測定を行なう上での前提条件であるが、現実には、球面収差や非点収差などの影響によって、直線的にはならないという問題がある。

【0012】

本発明は上記従来技術の問題を考慮してなされたもので、その目的とするところは、周期パターンを測定でき、且つ符号付きのデフォーカス量を簡単に精度良く測定するために有効な露光マスク、それを用いたフォーカス測定方法、更にこのフォーカス測定方法を応用した収差測定方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば下記の通りである。すなわち、上記目的を達成するために、本発明に係る露光マスクは、投影光学系を介してホトマスク上に形成されたマスクパターンの像を基板上に投影する投影露光装置に使用する露光マスクであって、プラス1次回折光とマイナス1次回折光の回折効率が異なる少なくとも1つの回折格子パターンと、この非対称回折格子パターン10の像のずれを測定する際の基準となる像を得るための基準パターンとを備えたものである。

【0014】

また、本発明に係るフォーカス測定方法は、投影光学系を介してホトマスク上に形成されたマスクパターンの像を基板上に投影する投影露光装置に関し、フォーカステストマスク上に形成されたテストマークの像を前記基板上に投影し、この像を用いて前記基板表面のデフォーカス量を測定するフォーカス測定方法において、前記フォーカステストマスクとして本発明に係る露光マスクを使用し、前記基板上に感光剤を塗布する第1の工程と、前記基板上に前記露光マスク内のテストマークを構成する回折格子パターンおよび基準パターンの像を同時に露光する第2の工程であって、前記露光マスク内にトリムパターンがある場合、このトリムパターンの像を前記第2の工程で得られた像の上に重ねて露光する第3の工程と、前記基板上に転写されたパターンを現像する第4の工程と、前記基板上に形成された前記回折格子パターンと前記基準パターンの像の相対的な距離を測定

する工程とを有するものである。

【0015】

上記の如き構成された露光マスクをフォーカス測定のためのテストマークとして使用すれば、+1次回折光と-1次回折光との異なる回折効率を有する回折格子パターン（非対称回折格子パターン）の像が、デフォーカスに比例して横シフトする現象を利用できるようになる。その結果、上記横シフトの量を定量化することにより、具体的には非対称回折格子パターンの像と基準パターンの像の相対的な距離によってデフォーカス量を定量化することで、実際に半導体装置の製造に用いられるパターン密度に近い周期パターンを測定でき、且つ符号付きのデフォーカス量を簡単に精度良く測定することが可能となる。

【0016】

本発明の好ましい形態は以下の通りである。

【0017】

テストマークとしてトリムパターンをさらに有するものを使用し、このトリムパターンと非対称回折格子パターンとを重ね合わせて露光した場合に、非対称回折格子パターンの像を構成するラインパターン群の一部がトリムパターンの像によって覆われようにする。

【0018】

このような構成であれば、合せずれ検査装置での自動測定が可能となる。さらに、テストマークとして非対称回折格子テストパターンと基準パターンとの対を複数用意し、これらの対が 22.5° おきに回転して配列すれば、Four-fold 収差までの偶関数収差の測定が可能となる。

【0019】

非対称回折格子パターンとして光を遮断する遮光部と、光を通す第1及び第2の透明部とを含むものを使用し、さらに第1の透明部を透過した光の位相と第2の透明部を透過した光の位相との差の絶対値を 90° 、且つ遮光部の幅と、第1の透明部の幅と、第2の透明部の幅との間の比が実質的にそれぞれ2対1対1とする。

【0020】

このような構成であれば、+1次回折光又は-1次回折光のどちらか一方を実質的に零にでき、レジストパターンが形成されるDOF (Depth of Focus) を飛躍的に広くでき、広いフォーカスレンジを有するフォーカス測定が可能となるだけでなく、デフォーカス量とパターンの位置ずれ量との関係が、収差の有無に拘わらず、直線的になるために、高精度なフォーカス測定が可能になる。

【0021】

本発明に係る収差測定方法は、投影光学系を介してホトマスク上に形成されたマスクパターンの像を基板上に投影する投影露光装置に関し、フォーカステストマスク上に形成したテストマークの像を前記基板上に投影し、この像を用いて前記基板表面のデフォーカス量を測定し、この測定したデフォーカス量に基づいて収差を測定する収差測定方法において、前記フォーカステストマスクとして請求項1ないし10のいずれか1項に記載の露光マスクを使用し、前記基板上に感光剤を塗布する第1の工程と、前記基板上に前記露光マスク内のテストマークを構成する回折格子パターンおよび基準パターンの像を同時に露光する第2の工程であって、前記テストマークを照明する照明光学系の部分コヒーレンスを σ 、前記テストマークを構成する第1のパターンの像の周期を P 、照明光の波長を λ 、投影光学系の開口数を NA とした場合に、 $\lambda / \{NA(1-\sigma)\} \leq P \leq 2\lambda / \{NA(1+\sigma)\}$ の条件を満たす条件で、前記回折格子パターンおよび基準パターンの像を同時に露光する第2の工程と、前記露光マスク内にトリムパターンがある場合、このトリムパターンの像を前記第2の工程で得られた像の上に重ねて露光する第3の工程と、前記基板上に転写されたパターンを現像する第4の工程と、前記基板上に形成された前記回折格子パターンと前記基準パターンの像の相対的な距離を測定する工程とを有するものである。

【0022】

このような構成であれば、偶関数収差を測定できるので、従来のようなマイクロステップ露光動作（フォーカス位置を微小に変化させながら随時数十回連続して露光する動作）を行う必要が無くなり、露光動作のフォーカス制御や露光量制御に係わる不安定性の影響を除去できるので、高精度の偶関数収差測定が可能となる。

【 0 0 2 3 】

本発明の上記並びにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記載及び添付図面によって明らかになるであろう。

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態（以下、実施形態という）を説明する。

【 0 0 2 5 】

まず、本発明の実施の形態を説明する前に、本発明と従来例との違いを明確にするため、USP 1 や USP 2 のフォーカス測定方法について、図面を用いて説明する。

【 0 0 2 6 】

図 1 に、半導体装置の製造に用いられる縮小投影露光装置によるパターン形成の模式図を示す。照明光学系 1 によってホトマスク 2 上に形成されたマスクパターン 5 を照明し、マスクパターン 5 による回折光が投影光学系 3 によってウエハ 4 に集光し、マスクパターン 5 の像 6 が結像される。

【 0 0 2 7 】

ウエハ 4 の表面には、予めホトレジスト等の感光剤が塗布されており、露光されたウエハを現像処理することで、マスクパターン 5 の像 6、すなわちレジストパターンが形成される。ウエハ 4 の表面、すなわち結像面をデフォーカスさせると、一般にマスクパターンの像はぼける。

【 0 0 2 8 】

このぼけ具合をパターンの寸法変化に変換したフォーカス測定方法が、USP 1 に記載の方法である。図 2 に、USP 1 で使用されるマスクパターンの一例を示す。このような菱形のマスクパターンを露光すると、レジストパターンの寸法 L は、ベストフォーカスで最大になり、デフォーカス量に従って短くなるため、寸法 L の変化からフォーカス測定が可能となる。

【 0 0 2 9 】

図 3 に、USP 2 で挙げるフォーカス測定方法の図を示す。なお、詳細につい

ては、文献1 [T. A. Brunner, et. al., Proc. SPIE 2197 (1993) p. 541-549] に紹介されている。

【0030】

マスクパターンは、孤立線パターン（ここではChrome, $0.4\mu\text{m}$ 幅）の両側を透明部と 90° 位相シフターで挟んだ構成をしている。このマスクパターンのウエハ上での光強度分布は、ベストフォーカス（ここではZero defocus）では対称であるのに対し、デフォーカスでは極小の位置が横方向にシフトしている。したがって、孤立線パターンを転写したレジストパターンの位置ずれをデフォーカス量として測定している。

【0031】

また、図4は、この測定を通常の合せずれ検査装置を用いて自動的に行うことを前提としたマスク上のフォーカスマニターマークである。ただし、このフォーカスマニターマークの孤立線パターンを細くすると、デフォーカス時のコントラスト低下によって、レジストパターンの形成自体が難しくなるだけでなく、たとえレジストパターンが形成できたとしても、重ね合わせ検査装置の分解能では測定が難しいという問題がある。すなわち、感度が低いという問題がある。

【0032】

（第1の実施形態）

次に、本発明の第1の実施形態について説明する。本発明の骨子は、フォーカス測定用の露光マスクとして、 $+1$ 次光と -1 次光とで回折効率の異なる周期パターン（以下、非対称回折格子パターンと呼ぶ）と、基準パターンとを含むテストマスクを用い、非対称回折格子パターンの像と基準パターンの像との相対的な距離を測定することで、デフォーカス量を精度良く定量化することにある。

【0033】

さらに、測定対象が孤立パターンに限定されないため、周期パターンに拡張でき、実際に半導体装置の製造に用いられるパターン密度に近い周期パターンを測定することもできる。

【0034】

図5に、 -1 次光の回折効率が零であるような理想的な非対称回折格子パター

ンを用いた時の結像の様子を模式的に示す。

【0035】

図に示すように、非対称回折格子パターン10によって回折した0次光と+1次光は、それぞれ山同士と谷同士で強め合い、傾いた干渉縞（定在波）を形成する。この干渉縞は通常の3光束による干渉縞に比べ、極めて広い焦点深度（DOF）を持ち（例えば入射光がコヒーレントである場合、理論的なDOFは無限大である。）、且つ、0次光入射角と+1次光の入射角とのほぼ中間の傾きを持っている。

【0036】

したがって、ウエハ4を上下にデフォーカスさせて露光すると、ウエハ4上に形成されるレジストパターンの位置は、デフォーカス量に比例してシフトすることが判る。そのため、フォーカス条件を徐々に変えて複数回露光を繰り返し、その寸法変化を測定することは不要である。すなわち、符号付きのデフォーカス量を簡単に測定することができる。

【0037】

本発明に係る露光マスクは、この非対称回折格子のデフォーカスによるシフト量を測定するために、図6に示すように、ホトマスク2上に、非対称回折格子パターン10と基準パターン20とで構成されるテストマーク7を配置した構造を持つ。

【0038】

非対称回折格子パターンを露光装置の検査に適用した例は、例えば文献2 [J. P. Kirk, C. J. Proler, Proc. SPIE 3679 (1999) p. 70-76] で既に報告されている。

【0039】

文献2では、+1次光と-1次光で回折効率の異なる回折光を発生させるために、断面形状が鋸刃状である回折格子パターンを提案し、この非対称回折格子を露光した際にレジストの表面に形成される干渉縞を、暗視野光学顕微鏡を用いて観察した像を用いて、露光装置の投影光学系の収差を測定した。

【0040】

ただし、実際には、鋸刃状の断面形状を形成することは困難であるため、図 7 に示す階段状の構造で代用した。このような遮光部を持たない回折格子パターンは、広い DOF で高いコントラストを得ることが難しいため、位置ずれ計測に適するようなレジストパターンを形成することは困難である。

【 0 0 4 1 】

このため、レジスト表面に形成される凹凸を暗視野光学顕微鏡によって定量化していると考えられ、したがって、本発明のような位置ずれ計測を行うために必要な比較用の基準パターンは用意されていない。

【 0 0 4 2 】

本発明で提案するフォーカス測定用のテストマークは、位置ずれ計測を行う上で必要な基準パターンと、フォーカスに比例した像のシフトを発生させる非対称回折格子パターンとを備えていることを特徴としている。

【 0 0 4 3 】

ここで、レジストパターンが十分に形成される像コントラストを得られる非対称回折格子パターン、すなわち高感度の測定を可能とする非対称回折格子パターンの断面形状としては、図 8 (a) ~ 図 8 (c) が挙げられる。

【 0 0 4 4 】

図 8 (a) は透過部 9 を鋸刃状に掘り込んだ構造で、理論的には有り得るが、実際のホトマスク製造プロセス (石英基板の加工プロセス) を考慮すると現実的ではない。実際には、文献 2 で挙げているような階段状の構造、すなわち図 8 (b) に示す構造は、現在のホトマスク製造プロセスで充分製造可能である。更に、図 8 (b) の透過部 9 の 3 段の段差を 2 段に減らした図 8 (c) は、最も簡単に製造できる非対称回折格子パターンである。

【 0 0 4 5 】

また、+1 次光と -1 次光との回折効率差を発生させるためには、図 9 に示すように、透過部 8_1 を透過する透過光 11_1 の位相 ϕ_1 と透過部 8_2 を透過する透過光 11_2 の位相 ϕ_2 との差が 180° 以外である必要があり、最も望ましい条件は $|\phi_1 - \phi_2| = 90^\circ$ である。

【 0 0 4 6 】

更に、図10に示すように、遮光部の線幅 W_0 と透過部 8_1 の線幅 W_1 と透過部 8_2 の線幅 W_2 の関係が、 $W_0 : W_1 : W_2 = 2 : 1 : 1$ である場合、図11に示すように、 -1 次光或は $+1$ 次光のうちどちらか一方（ここでは -1 次光）の回折効率を実質的に零にすることができるため、この条件を満たすものは最も相応しい非対称回折格子パターンである。したがって、これ以降は、 $|\phi_1 - \phi_2| = 90^\circ$ 且つ、 $W_0 : W_1 : W_2 = 2 : 1 : 1$ である非対称回折格子パターンに限定して説明する。

【0047】

次に、本発明のテストマークを構成する非対称回折格子パターンと基準パターンとの位置関係について説明する。

【0048】

基準パターンとしては、主に図12に示す3種類、すなわち、同図(a)に示す大きな孤立パターン21、同図(b)に示す回折格子パターン22、同図(c)に示す非対称回折格子パターン10と回折格子の向きが逆である非対称回折格子パターン23があげられる。

【0049】

図12(a)に示したテストマークは、非対称回折格子パターン10だけでなく孤立パターン21も広いDOFがあるため、広いフォーカスレンジを持った測定が可能である。しかし、非対称回折格子パターン10の像はデフォーカスだけでなく投影光学系の収差によってもシフトするため、収差の影響を補正するために、図12(a)と左右が対称であるテストマークに関しても同時に測定する必要がある。

【0050】

図12(b)のテストマーク7は、回折格子パターン22として非対称回折格子パターン10と周期が等しいパターンを採用したもので、これにより収差によるシフト量が等しくなり、収差の影響を受けないという効果を得ることができる。しかし、回折格子パターン22のDOFは相対的に狭くならざるを得ない欠点がある。

【0051】

図12(c)のテストマーク7は、これらの問題を回避したテストマークであるだけでなく、デフォーカスによる像シフトを2倍に強調した構造であり、最も望ましいマークである。すなわち、収差の影響を受けず、かつ光学的に高い感度を得ることが可能なテストマークである。

【0052】

更に、測定装置に起因する測定誤差を補正するためには、図13や図14に示すような、非対称回折格子パターン10が基準パターン（大きな孤立パターン21a, 21b、回折格子パターン22a, 22b、非対称回折格子パターン23a, 23b）に挟まれた配置、或はその逆であることが望ましい。なお、図14以降においては簡略化のために特に必要な場合を除いてパターンに参照符号を付すことは省略する。

【0053】

本実施形態では、図14(c)に示す配置をした、 $0.13\mu\text{m}$ 周期パターンを想定したウエハ上の換算で $W0 = 0.13\mu\text{m}$ 、 $W1 = W2 = 0.065\mu\text{m}$ 、のテストマークを用いた測定例を説明する。

【0054】

レジストパターン形成は、 $NA0.68$ のKrF露光装置を用い、照明条件は2/3輪帯である。図15にマスク上のテストマークとウエハ上に転写されたレジストパターンの模式図を示す。

【0055】

フォーカスとパターンシフトの関係をシミュレーションより求めた計算結果を図16に示す。レジストパターンのシフト（パターンシフト） dx は、計算より $8.5\text{nm}/0.1\mu\text{m}$ デフォーカスと解っているため、 $2dx$ は測長タイプの走査型電子顕微鏡で十分に検出できる量である。本計算結果は収差を加味していないシミュレーション結果であり、図16に示すように、パターンシフトはフォーカスに正比例している。さらに収差を加味したシミュレーションでは、グラフ全体が上下或いは左右にシフトした結果が得られるが、グラフの直線性は図16と同様であった。

【0056】

ただし、非対称回折格子パターンの両端パターンの像は左右で非対称になるため、本測定は周期の内部のパターンに限定して行なわなければならない。更になお、投影光学系の非点収差によって、直行する2方向の周期パターンでベストフォーカスがずれるため、テストマーク7は、図17に示すように直行する2方向のパターンが、近接して配置されていることが望ましい。

【0057】

(第2の実施形態)

次に、リソグラフィー工程における位置合せ精度の自動測定に一般的に用いられる合せずれ検査装置を用いた本発明の実施形態について説明する。

【0058】

合せずれ検査装置は、Box-in-boxタイプ、或はBars-in-barsタイプの測定マークを用い、光学式顕微鏡によって測定マークの拡大像を撮像し、内側に形成されたパターンと外側に形成されたパターンとの相対的な位置ずれ量を、高精度、且つ短時間に自動測定するものである。

【0059】

この種の装置を露光装置の投影光学系のコマ収差測定に応用した例は、既に多く報告されている。特に、コマ収差による周期パターンのシフトを測定する方法は、USP3 [US Patent No. 6011611] で提案されている。

【0060】

USP3は、図18(a)と図18(b)のマスクパターンを続けて露光し、図19(a)に示すレジストパターンを形成する。このパターンの内側のパターンは、合せずれ検査装置の拡大顕微鏡によっては解像できないため、図19(b)に示すように、実質的にはコントラストの異なるBar-in-barタイプとして観察され、外側のパターンの位置を基準としたコマ収差による周期パターン(内側の像)のシフト値が測定される。

【0061】

図20は、本発明のフォーカス測定用のテストマークを構成するテストパターンの一例である。パターン自体は図18に示した従来構造と似ているが、図18では非対称ではない回折格子パターンを用いているのに対し、図20では非対称

回折格子パターン 10 を用いている点が根本的に異なる。

【0062】

なお、非対称回折格子パターン 10 は 4 つの領域に分割され、それぞれ矢印の方向に回折格子の向きが向いている。この非対称回折格子パターン 10 とトリムパターン 30 を重ねて露光して得られる図 19 と類似のパターンを測定することで、フォーカス位置が測定できる。

【0063】

図 21 に、測定感度を 2 倍に増幅したテストマークを示す。このテストマーク 7 の非対称回折格子パターン 10 は、図 21 (b) に示すように 8 つの領域に分割され、回折格子の向きはそれぞれ矢印の方向である。この非対称回折格子パターン 10 には、コマ収差の影響を受けないという利点がある。

【0064】

本実施形態では、ウェハ上の 1 点での測定について説明したが、このテストマークを露光領域内に複数個配置することで、像面彎曲の測定が高精度に行えることは言うまでもない。

【0065】

(第 3 の実施形態)

本実施形態では、本発明のフォーカス測定方法を応用した投影光学系の偶関数収差測定方法について説明する。

【0066】

回折格子パターンによる三光束干渉を利用した収差の測定方法は、既に提案されている（例えば、特開平 11-237310 ※社内整理番号は使用できないので「米国出願整理番号：4HG22754」は削除しました。）

上記測定方法は、照明光学系の σ を小さく絞り、投影光学系の NA の内側に丁度 0 次光と +1 次光と -1 次光の 3 つの回折光が通過するような条件で周期パターンをウェハ上に転写し、コマ収差等の奇関数収差の測定には USP 3 に示す方法を応用し、非点収差等の偶関数収差の測定には文献 3 [J. P. Kirk, Proc. SPIE 1463 (1991) p. 282-291] に示す方法、すなわち、フォーカスを徐々にずらしたマイクロステップ露光を行い、光学顕微鏡

による暗視野像からベストフォーカス位置を測定し、パターンの向きとベストフォーカス位置の関係から、非点収差を測定するものである。

【0067】

本実施形態は、偶関数収差測定に行われるベストフォーカス位置の決定に、本発明に係る露光マスク（テストマーク）を用いるものである。このテストマークを用いた本発明の収差測定方法はマイクロステップ露光が不要であり、その結果としてフォーカス制御に係わる装置の不安定性（*fluctuation*）の影響が無くなり、高精度の測定が可能となる。ここでは、パターンの周期 P は図 22 に示すようにウエハ上に転写されたレジストパターン周期で定義されている。

【0068】

図 23 に示すように、 $P < \lambda / \{NA(1-\sigma)\}$ では、+1 次光の一部が NA によってけられてしまい、 $P > 2\lambda / \{NA(1+\sigma)\}$ では ± 2 次光が NA の内側に進入するため、定量的な収差測定を行うためには、下記の（式 1）を満たす必要がある。

【0069】

$$\lambda / \{NA(1-\sigma)\} \leq P \leq 2\lambda / \{NA(1+\sigma)\} \quad (\text{式 1})$$

ここで、 σ はテストマークを照明する照明光学系の部分コヒーレンス、 P はテストマークを構成する回折格子パターンの像の周期、 λ は照明光の波長、 NA は投影光学系の開口数である。

【0070】

更に、非点収差を測定するためには、図 21 に示した非対称回折格子パターンと基準パターンの対が 1 つであるテストマークだけではなく、このテストマークが 45° 傾いたマークがさらに必要であり、更に高次の *Four-foil* 収差を測定するためには、図 24 に示すような 22.5° ずつ傾いた 4 種類のテストマークが近接して配置されている必要がある。

【0071】

なお、本実施形態では、非点収差や *Four-foil* 収差に限定して説明したが、マスクパターンの周期を式 1 の条件を満たす範囲内で複数条件用意し、パターン周期とベストフォーカス位置の関係を測定することで、球面収差を高精度

に決定できることは言うまでもない。

【0072】

なお、本願発明は、上記各実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。更に、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題が解決できる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

【0073】

【発明の効果】

以上詳説したように本発明によれば、テストマークとしてプラス1次回折光とマイナス1次回折光の回折効率が異なる非対称回折格子パターンと、この非対称回折格子パターンの像のずれを測定する際の基準となる像を得るための基準パターンとを含むものを用いることで、非対称回折格子パターンの像がデフォーカスに比例して横シフトする量を定量化でき、その結果として実際に半導体装置の製造に用いられるパターン密度に近い周期パターンを測定でき、且つ符号付きのデフォーカス量を簡単に精度良く測定できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

ホトマスク上のパターンがウエハ上に転写される様子を模式的に示す図

【図2】

従来例のSMPマークを用いたフォーカス測定を説明するための図

【図3】

従来例のレベンソン型位相シフトマスクを用いたフォーカス測定の原理を示す
測定マークシミュレーション結果を示す図

【図4】

従来例のレベンソン型位相シフトマスクの測定マークを示す図

【図 5】

本発明の非対称回折格子パターンの線がフォーカスに対してシフトする様子を模式的に示す図

【図 6】

本発明のテストマークの構成図

【図 7】

従来例の非対称回折格子パターンの断面図

【図 8】

本発明の非対称回折格子パターンの一例を示す図

【図 9】

本発明の非対称回折格子パターンの位相差を説明するための図

【図 1 0】

本発明の非対称回折格子パターンの線幅比を説明するための断面図

【図 1 1】

本発明の回折効率を計算したグラフ

【図 1 2】

本発明のテストマークを示す図

【図 1 3】

本発明のテストマークを示す図

【図 1 4】

本発明のテストマークを示す図

【図 1 5】

本発明の第 1 の実施形態に係るフォーカス測定方法で使用するテストマークおよびウエハ上に転写されたレジストパターンを示す図

【図 1 6】

同テストマークを用いた場合のフォーカスとパターンシフトとの関係をシミュレーションにより求めた計算結果を示す図

【図 1 7】

本発明のテストマークを示す図

【図 1 8】

従来例のコマ収差測定用のマスクパターンを示す図

【図 1 9】

従来例のコマ収差測定用のレジストパターンおよび合せずれ検査装置で観察される像を示す図

【図 2 0】

本発明の第 2 の実施形態に係るテストマークを示す図

【図 2 1】

同テストマークの改良例を示す図

【図 2 2】

本発明のパターン周期 P の定義を示す図

【図 2 3】

本発明のパターン周期 P と瞳上での回折光の位置関係を模式的に示す図

【図 2 4】

本発明の第 3 の実施系に係る偶関数収差測定用のテストマークを示す図

【符号の説明】

- 1 …照明光学系
- 2 …ホトマスク
- 3 …投影光学系
- 4 …ウエハ（基板）
- 5 …マスクパターン
- 6 …マスクパターンの像（レジストパターン）
- 7 …テストマーク
- 1 0 …非対称回折格子パターン
- 2 3, 2 3 a, 2 3 a …非対称回折格子パターン（基準パターン）
- 1 1₁, 1 1₂ …透過光
- 2 0 …基準パターン
- 2 1, 2 1 a, 2 1 a …大きな孤立パターン（基準パターン）
- 2 2, 2 2 a, 2 2 a …回折格子パターン（基準パターン）

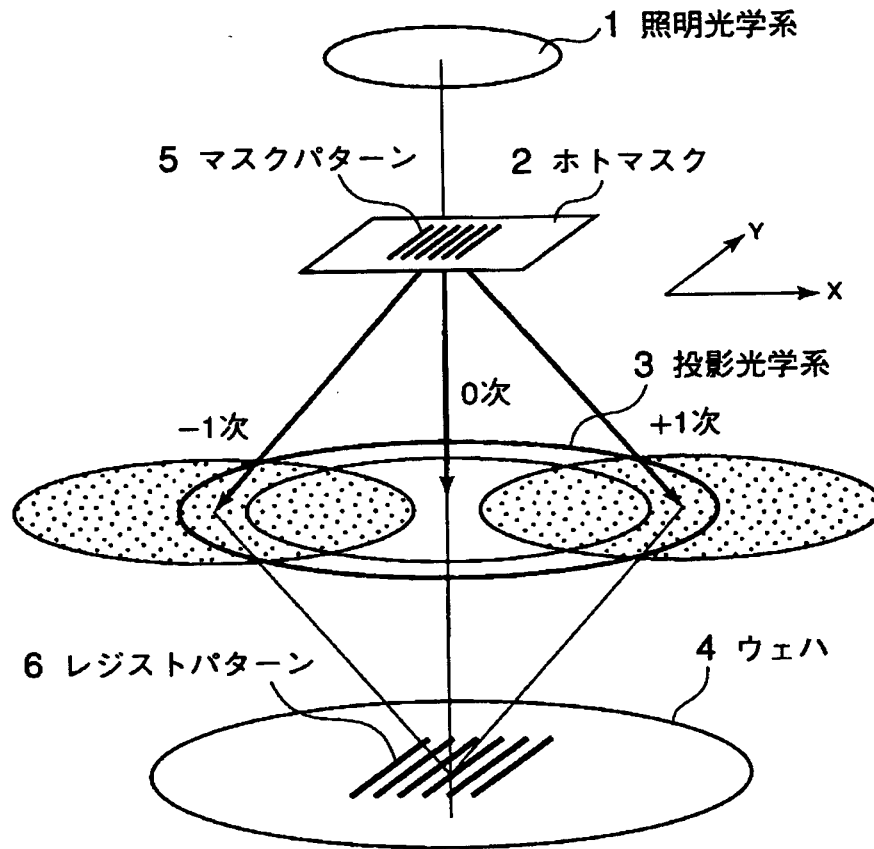
特 2 0 0 0 - 2 4 1 4 8 0

3 0 … トリムパターン

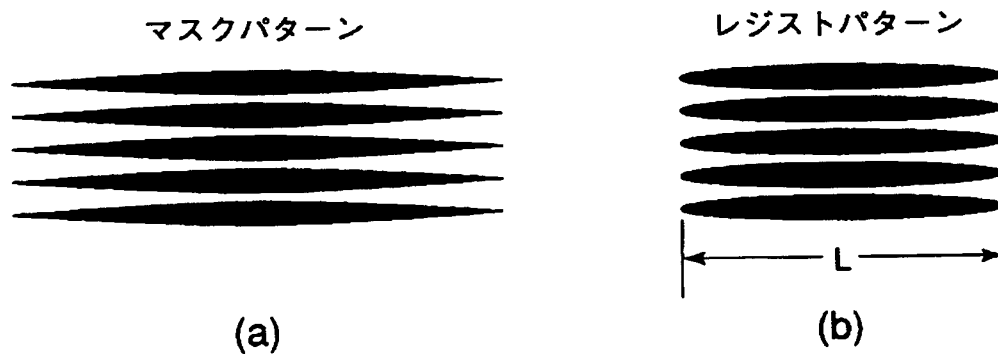
【書類名】

図面

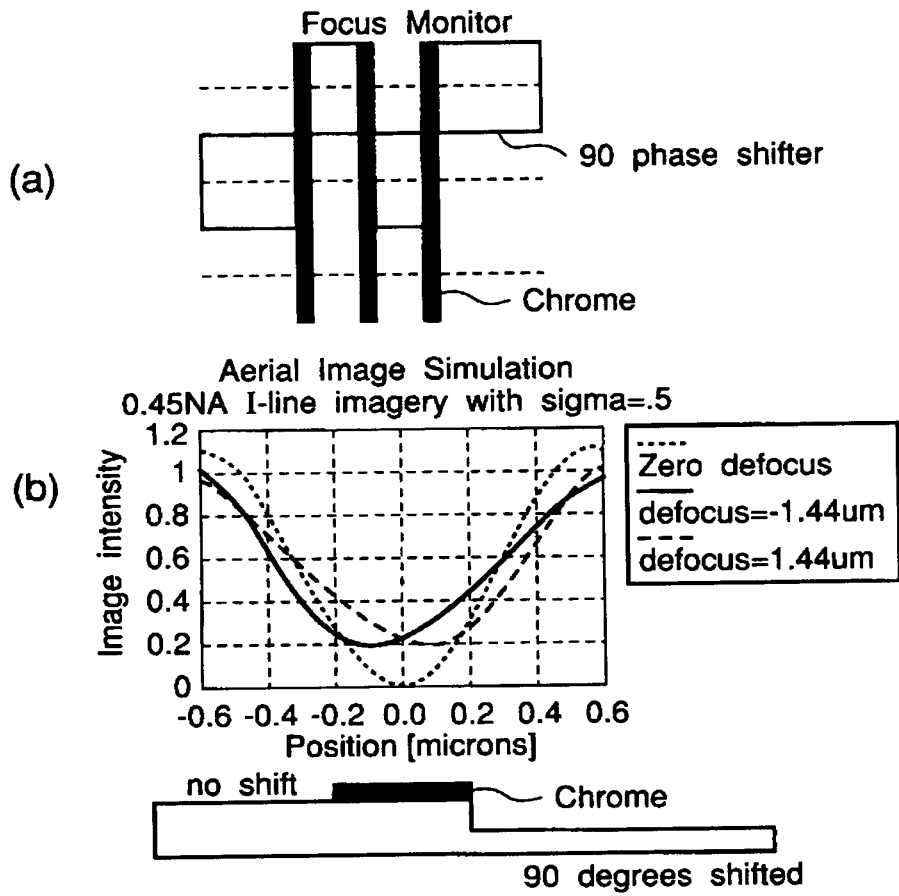
【図1】



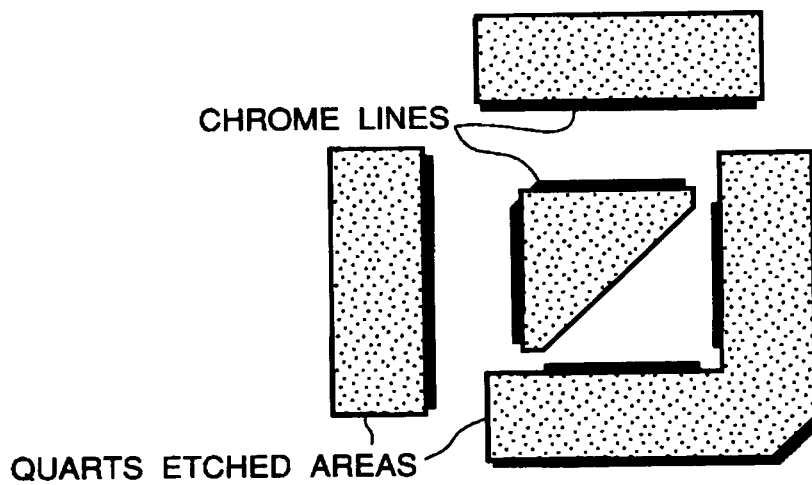
【図2】



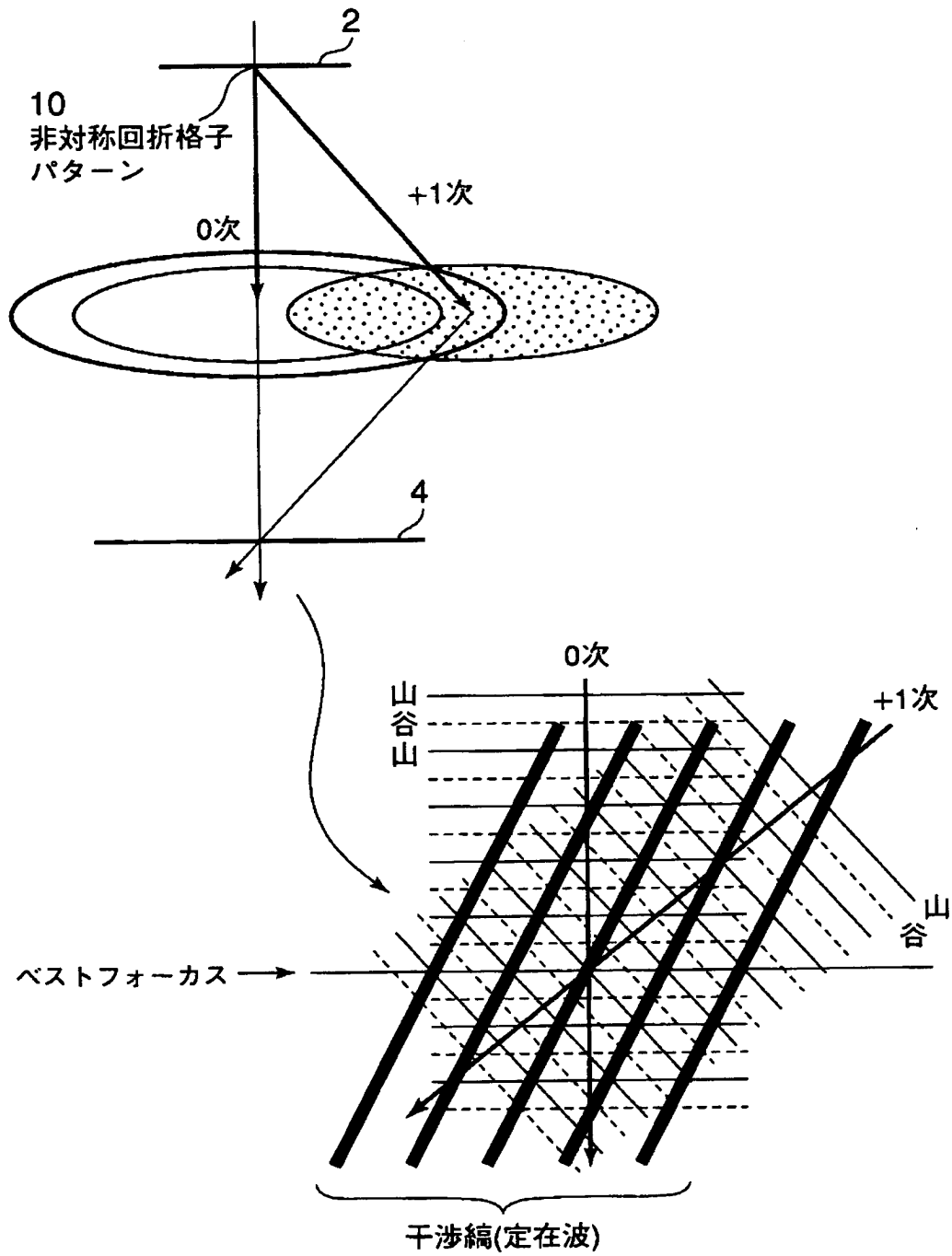
【図 3】



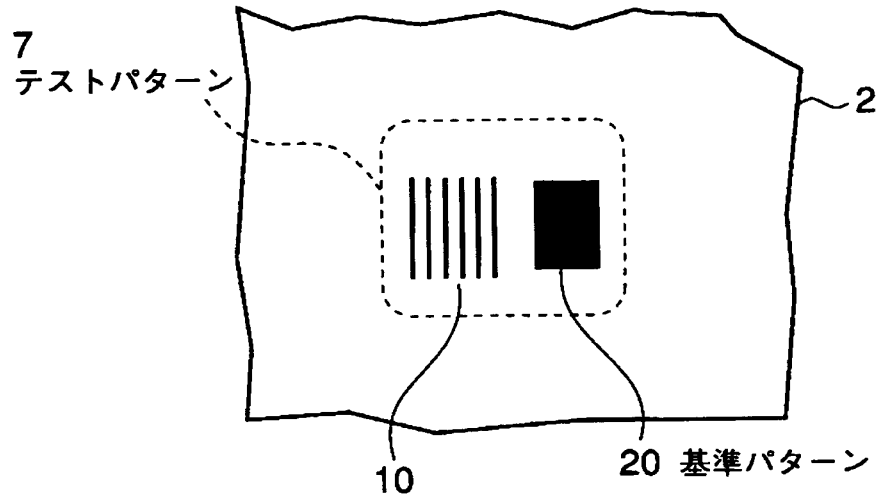
【図 4】



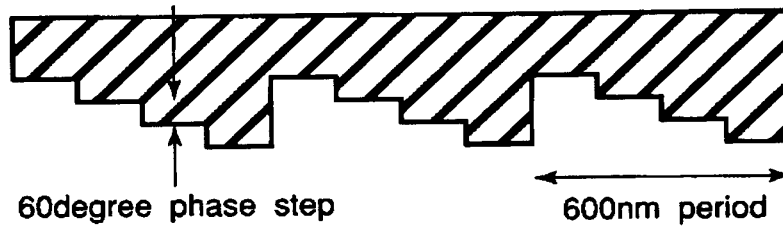
【図5】



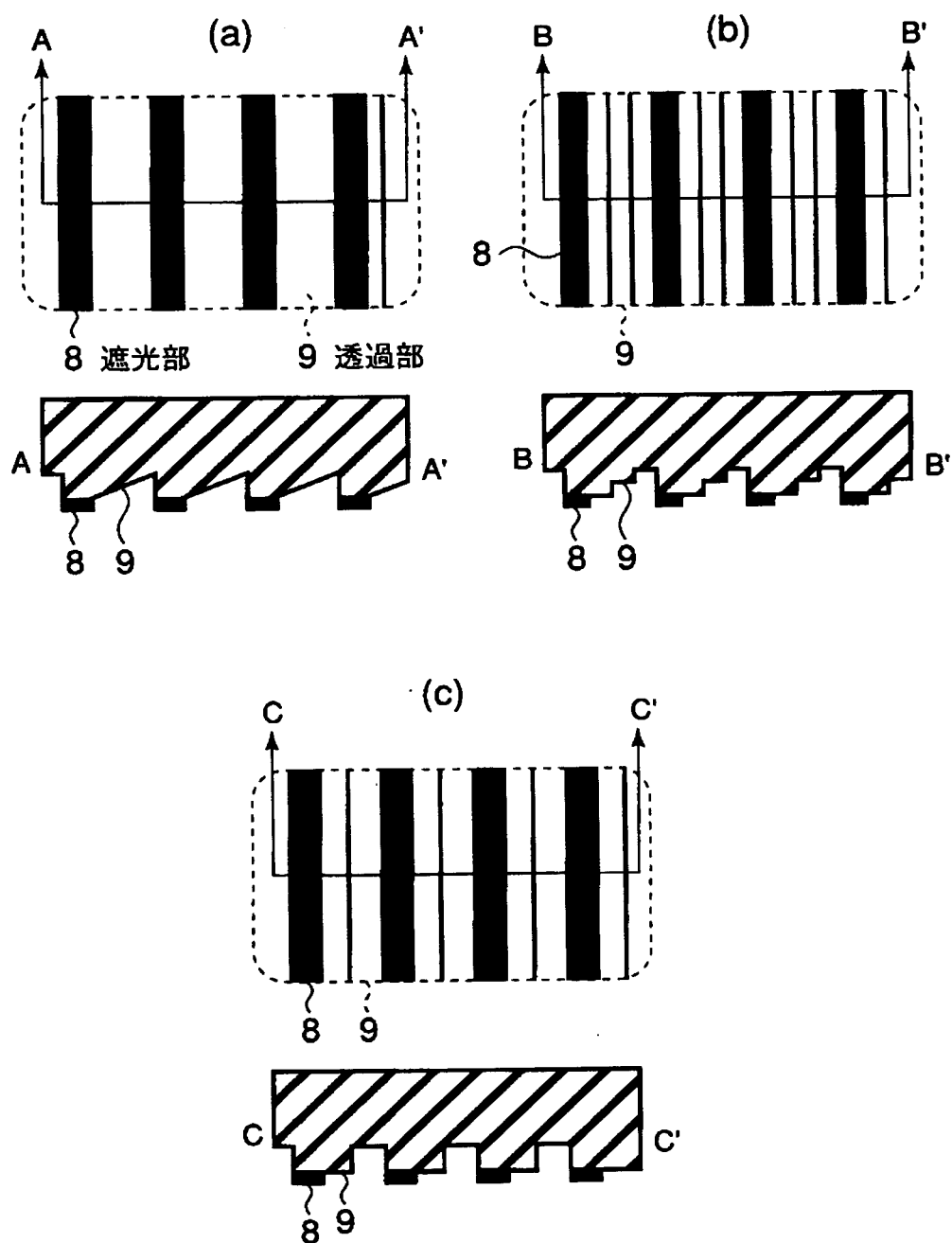
【図 6】



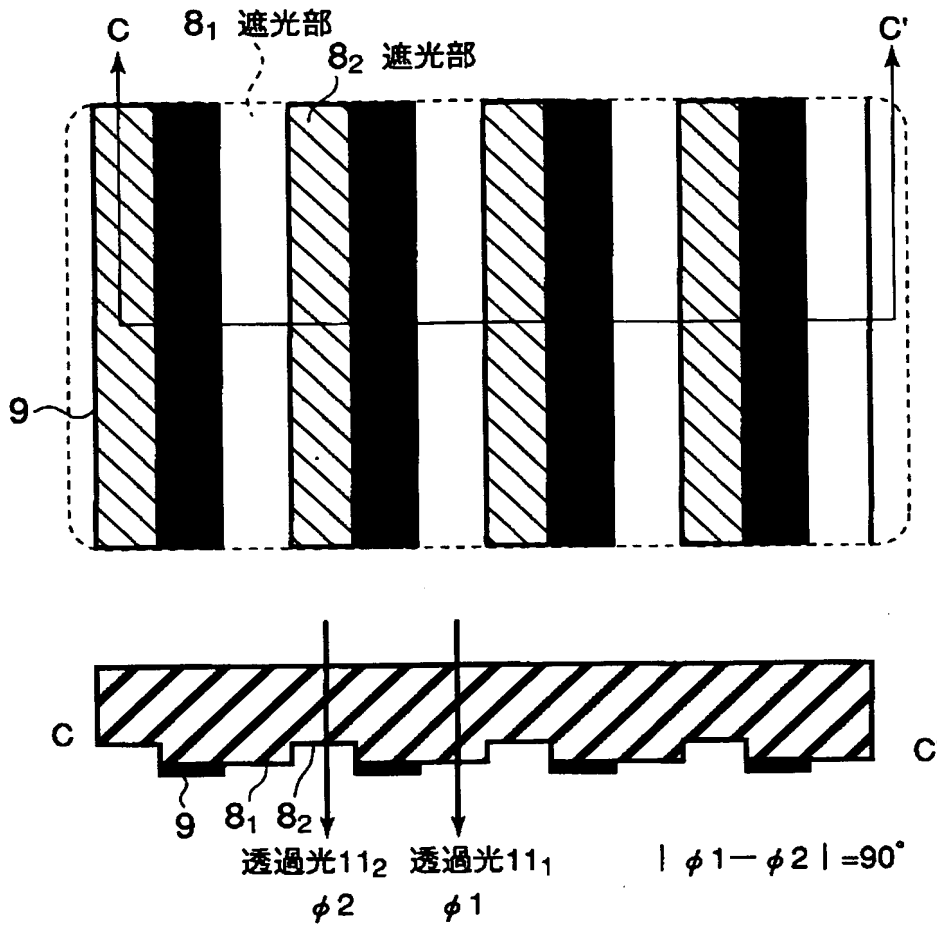
【図 7】



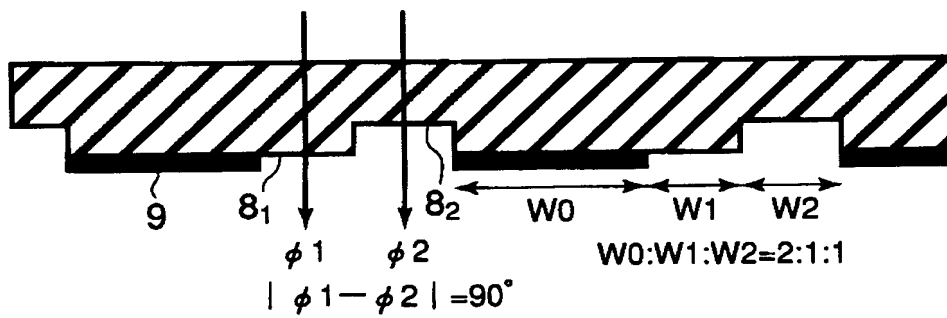
【図 8】



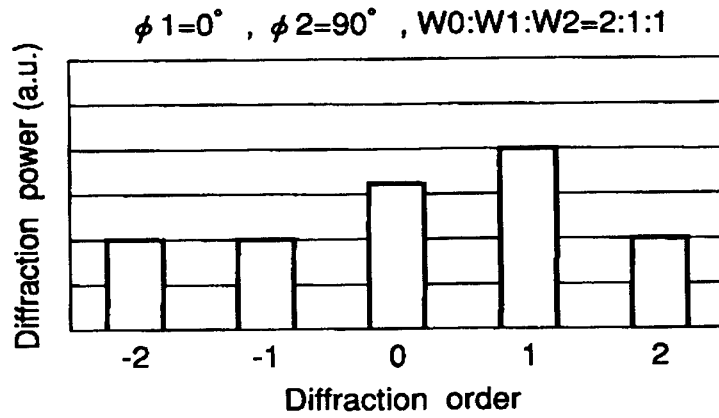
【図 9】



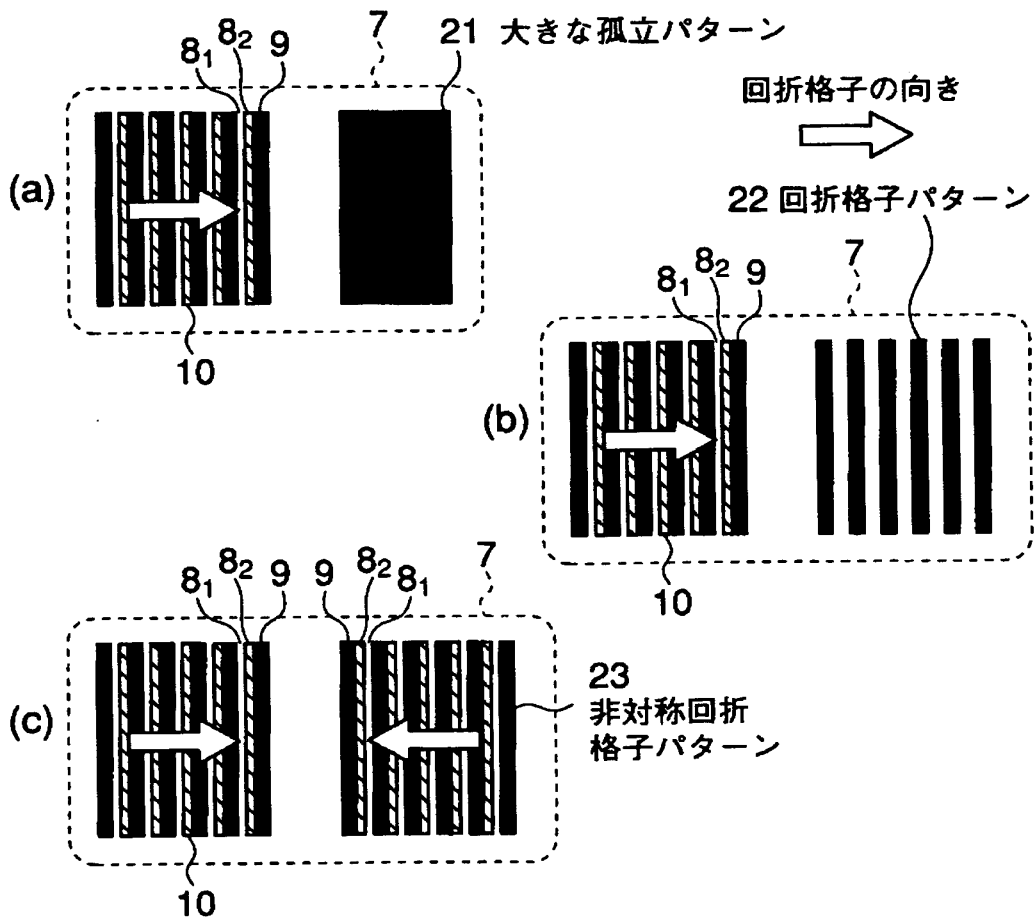
【図 1 0】



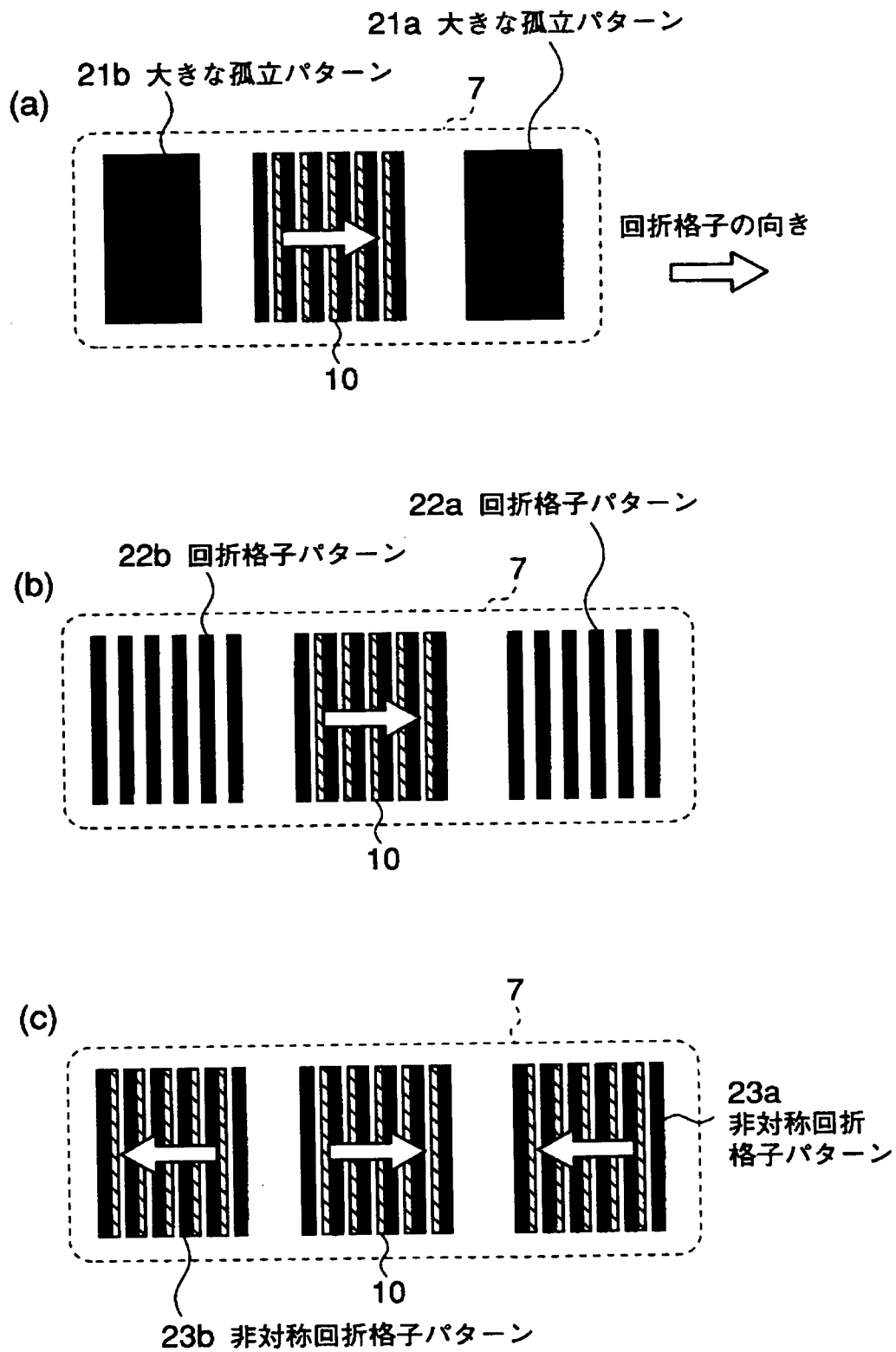
【図 1 1】



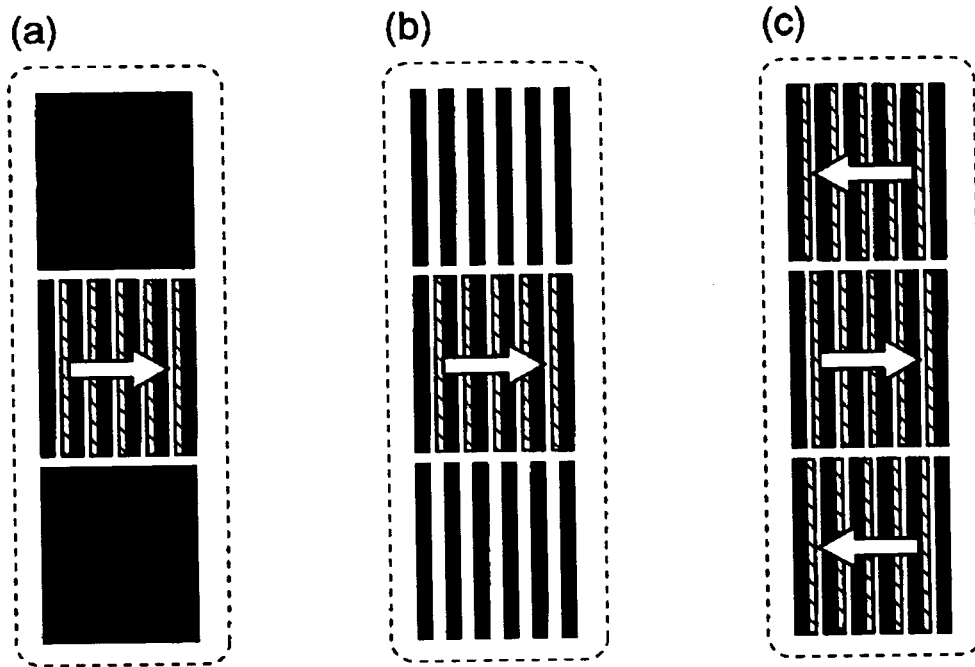
【図 1 2】



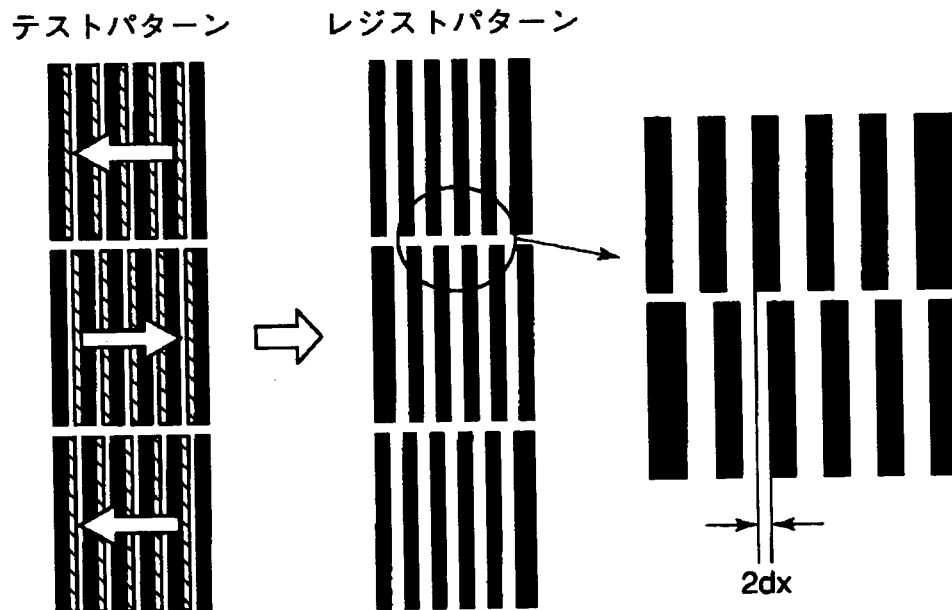
【図 1 3】



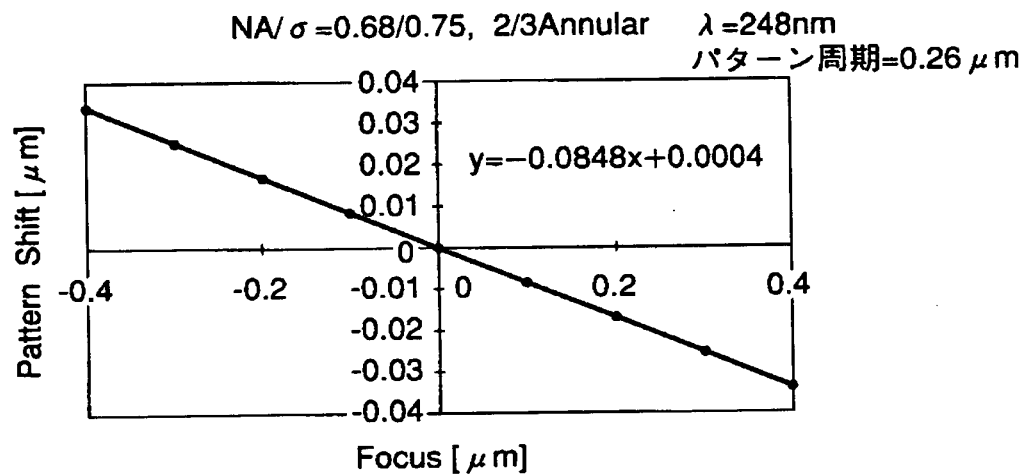
【図 1 4】



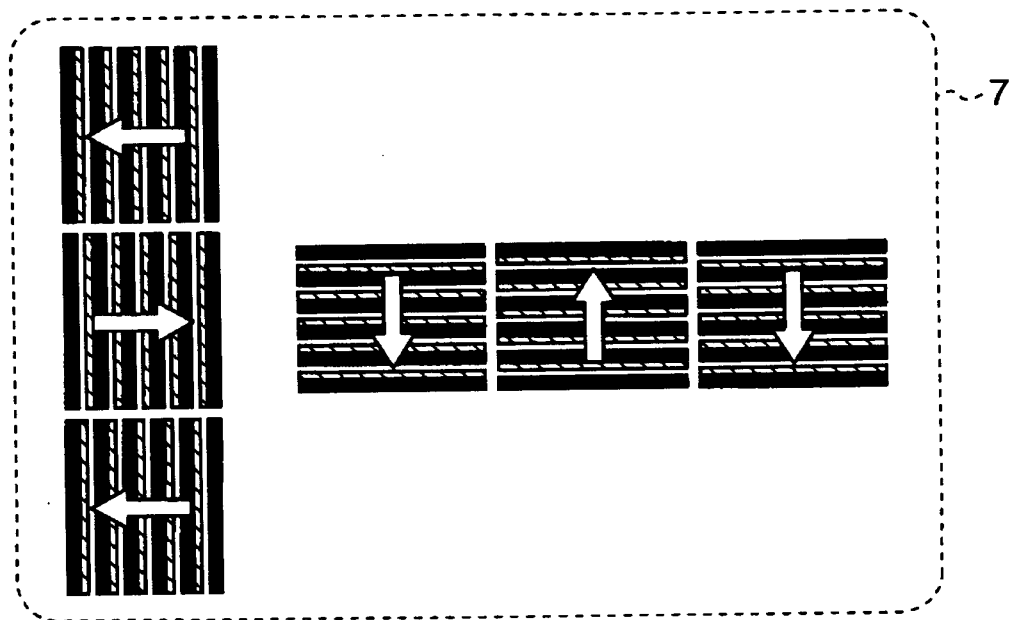
【図 1 5】



【図 1 6】

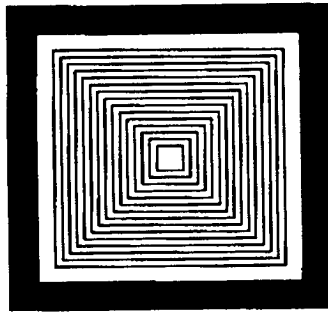


【図 1 7】



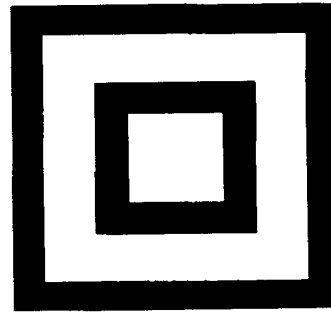
【図 1 8】

マスクパターン



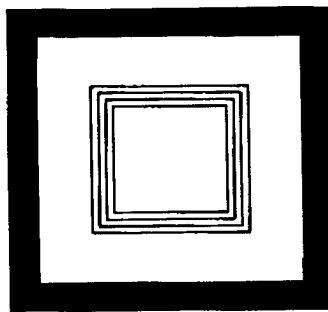
(a)

マスクパターン

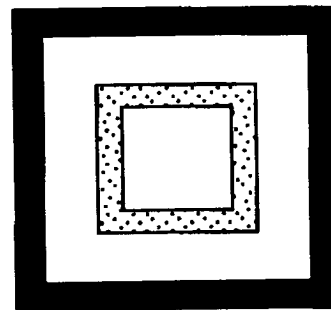


(b)

【図 1 9】

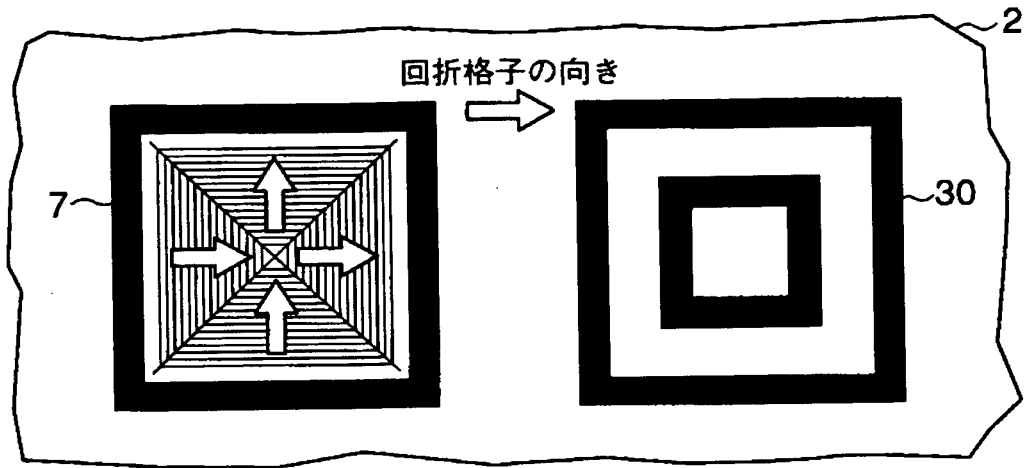


(a)

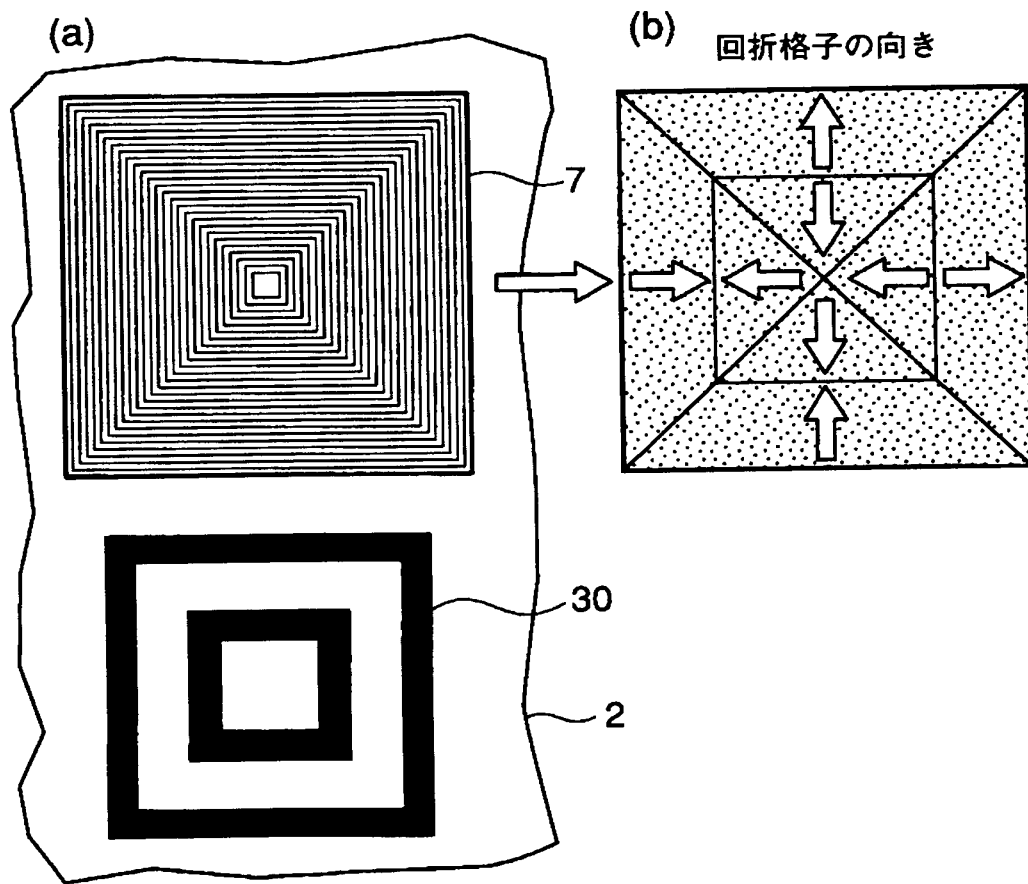


(b)

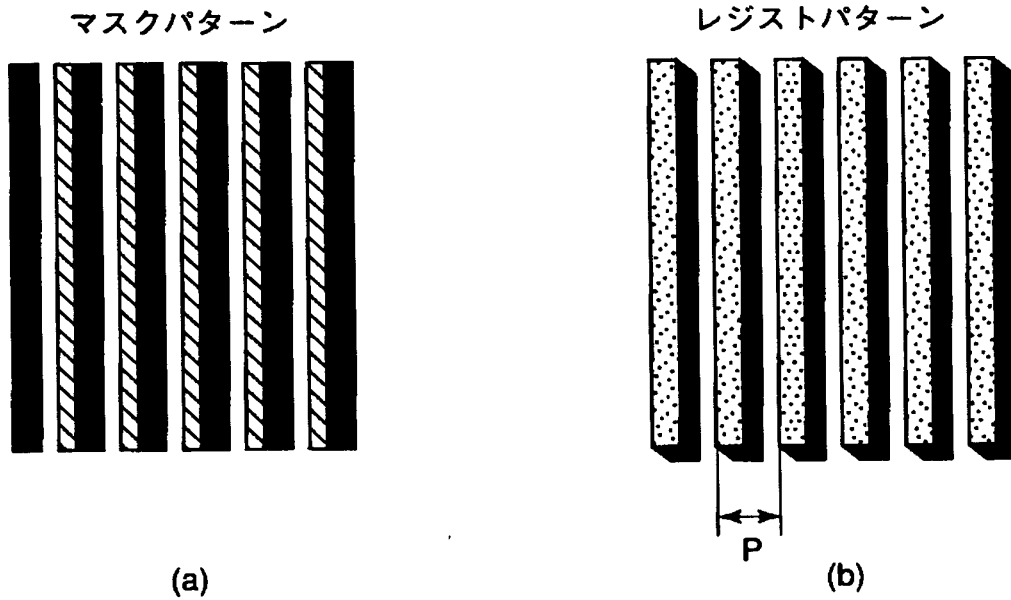
【図 2 0】



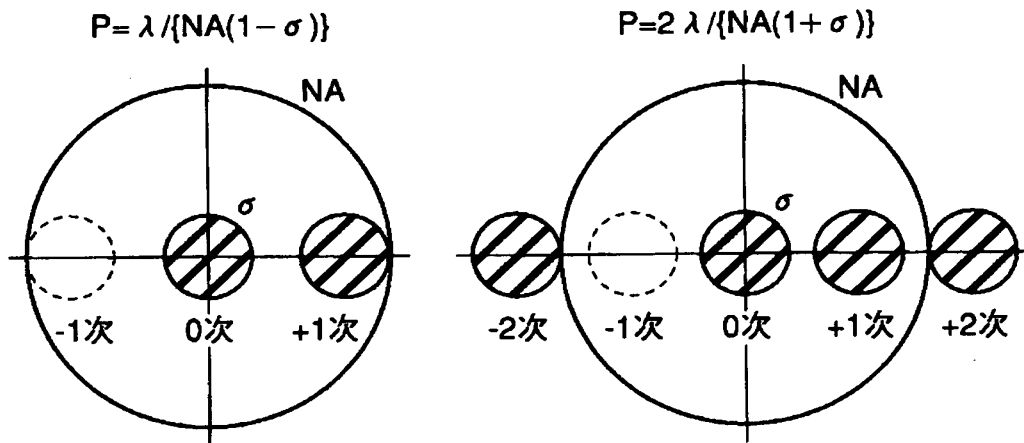
【図 2 1】



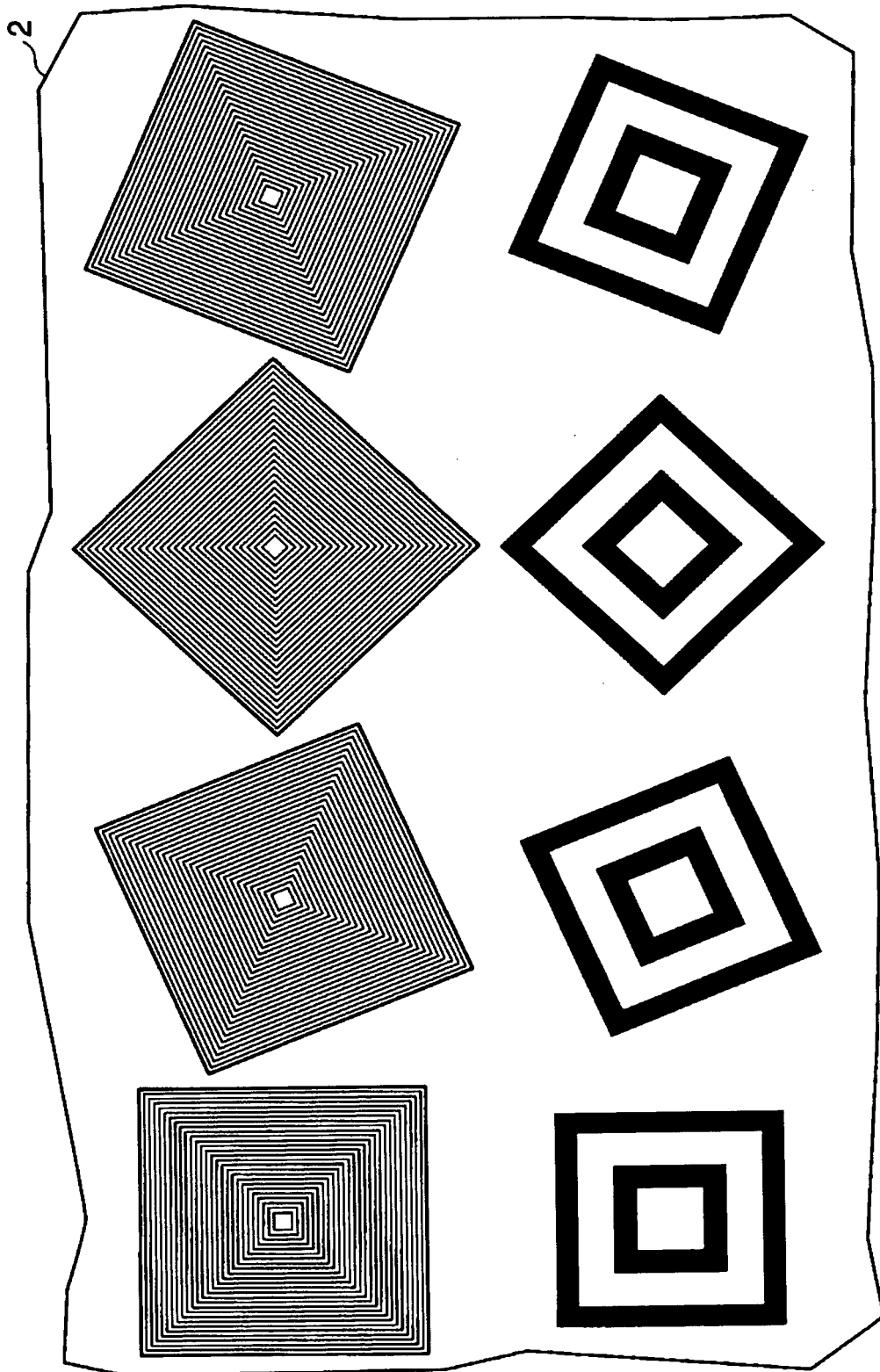
【図 22】



【図 23】



【図24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実際に半導体装置の製造に用いられるパターン密度に近い周期パターンの測定を可能にし、且つ符号付きのデフォーカス量を簡単に精度良く測定するために有効なフォーカス測定用の露光マスクを提供すること。

【解決手段】 フォーカス測定用の露光マスクとして、+1次光と-1次光とで回折効率の異なる非対称回折格子パターン10と、非対称回折格子パターン10の像のずれを測定する際の基準となる像を得るための基準パターン20とで構成されたテストマーク7を含むものを用いる。

【選択図】 図6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日	1990年 8月22日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名	株式会社東芝